

# Diagnosi dei sistemi alimentati a METANO



# INDICE

<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>		
<b>1. GENERALITÀ SUL METANO</b>	<b>7</b>		
1.1 Estrazione, trasporto, stoccaggio e distribuzione del Metano: sistemi tradizionali	7		
1.1.1 Le stazioni di rifornimento	9		
1.2 Il metano liquido LNG	11		
1.3 Caratteristiche chimiche e fisiche del Metano e comparazione con gli altri combustibili	13		
1.4 Comparazione delle emissioni dei principali combustibili	15		
<b>2. CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE A METANO DEI VEICOLI</b>	<b>17</b>		
2.1 Autodiagnosi dei veicoli in base alla loro classificazione	18		
<b>3 EVOLUZIONE DEGLI IMPIANTI A METANO</b>	<b>20</b>		
3.1 Sistemi di alimentazione a metano gassoso	20		
3.1.1 Impianti con miscelatore per motori a carburatore	20		
3.1.2 Impianti con miscelatore per motori ad iniezione non catalizzati	22		
3.1.3 Impianti con miscelatore per motori a iniezione catalizzati	22		
3.1.4 Impianti ad iniezione sequenziale gassosa per motori a iniezione catalizzati	23		
3.2 Differenza di prestazioni fra impianti alimentati a benzina o a metano	25		
<b>4. COMPONENTI DEGLI IMPIANTI DI ALIMENTAZIONE A METANO</b>	<b>28</b>		
4.1 Approfondimento sulle bombole per il metano	32		
4.1.1 Revisione delle bombole per metano	34		
4.2 Approfondimento sulle valvole di sicurezza	36		
4.3 Approfondimento sui riduttori di pressione	38		
4.3.1 Riduttori di pressione a membrana	39		
4.3.2 Riduttore di pressione a molla	40		
4.3.3 Riduttore di pressione elettronico (EPR)	41		
<b>5. IL METANO NEI MOTORI DIESEL</b>	<b>43</b>		
<b>6. MAPPATURA SPEED DENSITY LAMBDA</b>	<b>44</b>		
6.1 Sonda Lambda a monte del catalizzatore	45		
6.1.1 Regolazione a Loop Chiuso	46		
6.1.2 Verifica del funzionamento della sonda	47		
6.2 Sonda Lambda a valle del catalizzatore	47		
6.3 Riconoscimento della posizione delle sonde	48		
6.4 Controllo della carburazione negli impianti a GAS catalizzati	49		
6.4.1 Integratore Lambda	50		
6.5 Accensione della spia MIL	51		
6.6 Le mancate accensioni "Misfire"	51		
6.6.1 Problemi di compressione e usura delle sedi valvole	52		
<b>7. SICUREZZA IN OFFICINA</b>	<b>55</b>		
7.1 Procedura di scarico del circuito del metano	56		
7.1.1 Scarico in atmosfera	56		
7.1.2 Stoccaggio delle bombole	56		
7.1.3 Verifica della tenuta dell'impianto	57		
7.1.4 Procedura di controllo delle fughe	59		
<b>8. IMPIANTI OEM</b>	<b>60</b>		
8.1 Fiat Natural Power 	60		
8.1.1 Generalità Punto Evo Natural Power	60		
8.1.2 Impianto elettrico	62		
8.1.3 Funzionamento	65		
8.1.4 Verifica con lo strumento di autodiagnosi	67		
8.1.5 Manutenzione	70		
8.2 Volkswagen Turbo EcoFuel 	71		
8.2.1 Generalità Passat 1.4 TSI Ecofuel	71		
		8.2.2 Componenti impianto a metano	74
		8.2.3 Approfondimento sul regolatore di pressione	77
		8.2.4 Impianto Elettrico	78
		8.2.5 Funzionamento	81
		8.2.6 Verifica con lo strumento di autodiagnosi	82
		8.2.7 Manutenzione	83
		<b>9. CASISTICHE GUASTO</b>	<b>84</b>
		<b>10. NORMATIVE VIGENTI</b>	<b>86</b>
		10.1 Norma europea di sicurezza e di installazione e di utilizzo di impianti a metano sui veicoli	86
		10.2 Norme per le officine per la trasformazione di veicoli a metano e gpl	86
		10.2.1 Norme per l'installazione degli impianti a metano R110-R115	88

**Legenda:**



**Attenzione**



*Note/Informazioni*

## PREMESSA

L'acquisto, la manutenzione, ma soprattutto il prezzo dei combustibili rendono le vetture sempre più costose da gestire: come fare per affrontare in modo concreto ed immediato questo aspetto che più che mai costituisce un problema per tutto il settore?

Una delle soluzioni è quella di utilizzare il gas come carburante, al posto dei tradizionali combustibili liquidi.

A ciò si aggiunge il vantaggio di diminuire in modo sostanziale le emissioni inquinanti legate alla mobilità, contribuendo alla salvaguardia dell'ambiente.

Tale soluzione è incoraggiata dallo Stato e dalle Amministrazioni Pubbliche con incentivi e con la possibilità di poter entrare nelle zone urbane a traffico limitato (ZTL) durante i provvedimenti di restrizione del traffico finalizzati al salvaguardare la qualità dell'aria:

possibilità quest'ultima per molti automobilisti tutt'altro che trascurabile.

I combustibili gassosi disponibili sul mercato sono due:

1. il GPL, Gas di Petrolio Liquefatto o Gas Propano Liquido, all'estero conosciuto come LPG (Liquid Petroleum Gas);
2. il Metano, conosciuto in tutto il mondo come Gas Naturale, il cui acronimo è CNG (Compressed Natural Gas) ove la C sta ad indicare il metodo di stoccaggio cioè la Compressione. NGV (Natural Gas Vehicle) è invece l'acronimo che sta ad indicare i veicoli alimentati con questo combustibile.

Scopo del seguente manuale è illustrare le tecnologie che permettono di utilizzare il Metano per autotrazione sui veicoli. Il manuale **G12b** invece tratta i veicoli GPL.

Il metano è il carburante più economico disponibile sul mercato, in quanto consente risparmi di oltre il 50% rispetto alla benzina, di oltre il 20% rispetto al gasolio ed al GPL.



Figura 1

Altra caratteristica è che non determina restrizioni all'accesso ai parcheggi sotterranei.

Le recenti stime di settore indicano in circa 780.000 i veicoli alimentati a Metano. Nel 2011 sono stati installati in Italia, in After Market, circa 14.000 impianti d'alimentazione Metano.



Figura 2: Mappa dei veicoli a metano in europa.

Per questo motivo importanti costruttori come Fiat, Volkswagen, Mercedes e Opel hanno deciso di produrre dei veicoli equipaggiati già dalla nascita con impianti OEM<sup>1</sup>.

La rete distributiva del metano per auto, pur essendo meno estesa e capillare rispetto a quelle degli altri combustibili, è in continuo aumento ed è direttamente legata all'incremento dei veicoli alimentati con questo gas trasformati e prodotti di serie dalle case automobilistiche.

Ad esempio, in Italia i distributori sono passati da 477 nel 2004 a 908 nel 2012, di cui oltre 31 Autostradali.

**i** Le statistiche più aggiornate ci dicono che il paese con più veicoli circolanti a metano è il Pakistan (3.100.000). Seguito da Iran (2.900.000), Argentina (2.123.107), Brasile (1.719.197), India (1.500.000) e Cina (1.200.000). L'Italia in questa classifica si pone al 7° posto, primo dei paesi europei.

[1] Per ulteriori dettagli visita il sito: [www.ngvaeurope.eu](http://www.ngvaeurope.eu) dove è disponibile la lista aggiornata di veicoli a metano commercializzati.

# 1. GENERALITÀ SUL METANO

Il Metano utilizzato per l'autotrazione è un combustibile di origine fossile<sup>2</sup>. E' un prodotto naturalmente presente in natura nel sottosuolo, ma può essere anche prodotto industrialmente dalla decomposizione di materiale organico, nel processo di fermentazione a patto che questi avvenga in modo anaerobico. Ma come arriva nei distributori dove noi ricarichiamo le nostre autovetture?

Nel prossimo capitolo cercheremo di rispondere a questa domanda.



Figura 3

ito così com'è estratto prendendo il nome di "metano" dal suo principale componente. La maggior parte del metano commercializzato è estratto dalle enormi sacche di gas che normalmente si formano nel sottosuolo sopra i giacimenti di petrolio. Ma si trova anche in giacimenti di solo metano.

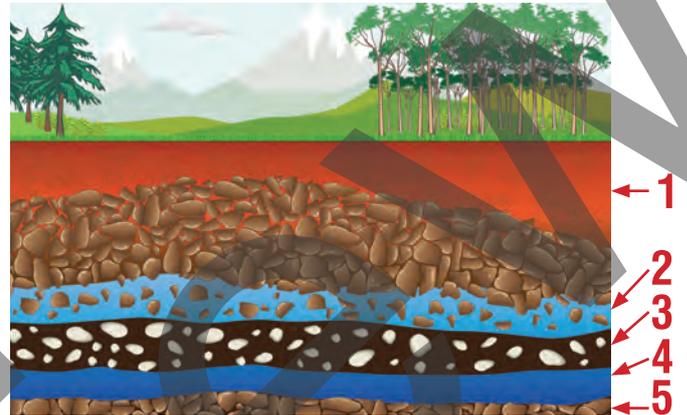


Figura 4: Giacimenti di metano.

**Legenda:**

- 1) Suolo superficiale
- 2) Metano
- 3) Petrolio grezzo
- 4) Acqua
- 5) Strato di suolo impermeabile

## 1.1 Estrazione, trasporto, stoccaggio e distribuzione del Metano: sistemi tradizionali

**ESTRAZIONE:** Il Metano a differenza del GPL non deriva dal petrolio, ma viene estratto da giacimenti sotterranei dove si è prodotto nei millenni dalla decomposizione di materia organica in assenza di ossigeno. Il gas così estratto prende il nome di **gas naturale** di cui è il metano ( $CH_4$ ) è il principale componente. Il gas naturale normalmente contiene anche idrocarburi gassosi più pesanti come etano ( $CH_3CH_3$ ), propano ( $CH_3CH_2CH_3$ ) e butano ( $CH_3CH_2CH_2CH_3$ ).

In genere il gas naturale non necessita di raffinazione e dopo essere stato additivato con un odorizzante<sup>3</sup>, viene distribu-

*Il 40% circa delle riserve mondiali e della quantità prodotta proviene dalla Russia e dalle ex Repubbliche Sovietiche.*

**TRASPORTO – DISTRIBUZIONE - STOCCAGGIO:** La sua natura di gas ne complica il trasporto. Normalmente il metano viene fatto scorrere nei metanodotti e trasportato allo stato gassoso con pressioni che possono arrivare a 70 bar. In Italia il gas proviene da lunghi metanodotti che arrivano principalmente dal Nord Africa (Algeria con la TTPC e la Libia con la Green stream), dall'est Europa (Russia South Stream) e dal Nord dell'Europa (Olanda e Norvegia con la TENP).

**Legenda:**

- Italia
- Russia
- Algeria
- Libia
- Paesi Bassi
- Norvegia
- Altri

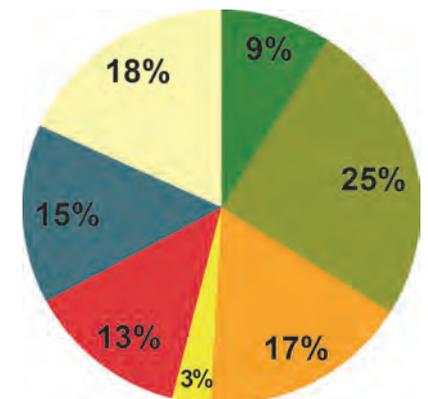


Figura 5: Linee di rifornimento del Metano all'Italia

[2] *Combustibili fossili: Si definiscono fossili quei combustibili derivanti dalla trasformazione (carbogenesi) di sostanze organiche, seppellitesi sottoterra nel corso delle ere geologiche, in forme molecolari via via più stabili e ricche di carbonio. Rientrano in questo campo dunque:*

- Petrolio e altri idrocarburi naturali;
- Carbone in generale, quindi tutte le sue forme da torba a antracite;
- Gas naturale.

[3] *Il metano naturale è inodore e viene odorizzato per questioni di sicurezza.*



Figura 6

Il gas naturale proveniente dall'estero viene immesso nella rete nazionale attraverso 7 punti di entrata, in corrispondenza delle interconnessioni con i metanodotti di importazione (Tarvisio, Gorizia, Passo Gries, Mazara del Vallo, Gela) e dei terminali di rigassificazione GNL (Panigaglia e Cavarzere). Fonte ENI. Una rete di trasporto nazionale dell'estensione di oltre 8.800 chilometri, costituita essenzialmente da condotte di grande diametro, trasporta il gas dai punti di ingresso al sistema ai punti di interconnessione con la rete di trasporto regionale e ai siti di stoccaggio.

Da qui 50.000Km di condutture trasportano il gas a tutte le utenze finali (settore civile, del terziario e della piccola industria in ambito urbano).



Figura 7: Eni-Infrastrutture gas al 31 dicembre 2010

Il gas che arriva in Italia viene anche stoccato nuovamente nel sottosuolo sfruttando dei giacimenti esauriti (cerchi in verde nella precedente mappa).

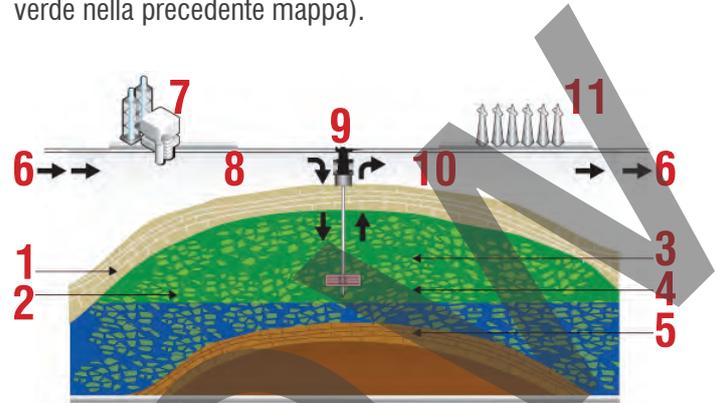


Figura 8: Siti di stoccaggio del metano

**Legenda:**

- 1) Roccia di copertura
- 2) Roccia porosa
- 3) Working gas
- 4) Cushion gas
- 5) Acquifero
- 6) Metanodotto
- 7) Impianto di compressione
- 8) Iniezione
- 9) Pozzi
- 10) Erogazione
- 11) Impianto di trattamento

I gasdotti si distinguono in condotte di terra, il cui diametro massimo raggiunge i 1.400 mm, che realizzano il trasporto del gas a una pressione compresa tra i 24 e i 75 bar, e condotte sottomarine (che in Italia attraversano lo stretto di Messina), le quali hanno un diametro compreso tra i 500 e i 650 mm e trasportano gas a una pressione fino a 115 bar.



Figura 9: Particolare, il manometro segna 60 bar in questo metanodotto

**i** In Italia, l'azienda che è proprietaria e gestisce la stragrande maggioranza della rete di metanodotti presenti sul territorio nazionale è la SNAM, che fa parte del Gruppo ENI (Ente Nazionale Idrocarburi) cui appartiene tra l'altro, anche il marchio Agip.

### 1.1.1 Le stazioni di rifornimento

**GENERALITA':** il metano per autotrazione è lo stesso utilizzato a scopi domestici, è trasportato tramite le stesse reti di distribuzione con l'unica differenza che, tramite i compressori di cui sono dotate le stazioni di rifornimento, nei serbatoi dei veicoli è stoccato ad alta pressione, mentre a casa arriva, per motivi di sicurezza, a pressione molto bassa. L'unica differenza è il costo: infatti il metano per usi domestici è gravato di accise cioè da tasse imposte dallo Stato, maggiori rispetto a quello per autotrazione. La distribuzione del metano per veicoli avviene in distributori, un tempo realizzati appositamente, isolati e circondati da robusti muri di protezione, che via via, grazie al progredire della tecnologia della sicurezza, non sono più necessari.



Figura 10: Distributori vecchio e nuovo tipo

Infatti da qualche anno, tali distributori possono essere affiancati a quelli dei combustibili tradizionali caso in cui tali impianti prendono il nome di MULTIFUEL.

**FUNZIONAMENTO:** nelle stazioni di servizio il metano prelevato dal metanodotto, viene compresso e stoccato normalmente in due o più serbatoi separati a diverse pressioni. Questo poiché il rifornimento delle vetture, avviene per travaso in due fasi: all'inizio, grazie alla valvola a tre vie presente sull'erogatore, il serbatoio del veicolo viene messo in

comunicazione con quello del distributore a media pressione, che va da 50 a 150 bar, in relazione alle caratteristiche dell'impianto di ricarica, realizzando parte del rifornimento poi, quando le pressioni si equivalgono s'interrompe questo collegamento e si attiva quello con il serbatoio del distributore a pressione più alta, fino a quando la pressione del serbatoio della vettura non raggiunge i 216 bar, valore di carica massimo ammesso per legge, in corrispondenza del quale, il segnale di un apposito sensore comanda la conclusione del rifornimento.

Se la pressione del settore di alta è sufficiente, il rifornimento viene completato, altrimenti, si avvia il compressore che "spinge" gli ultimi kg di gas.

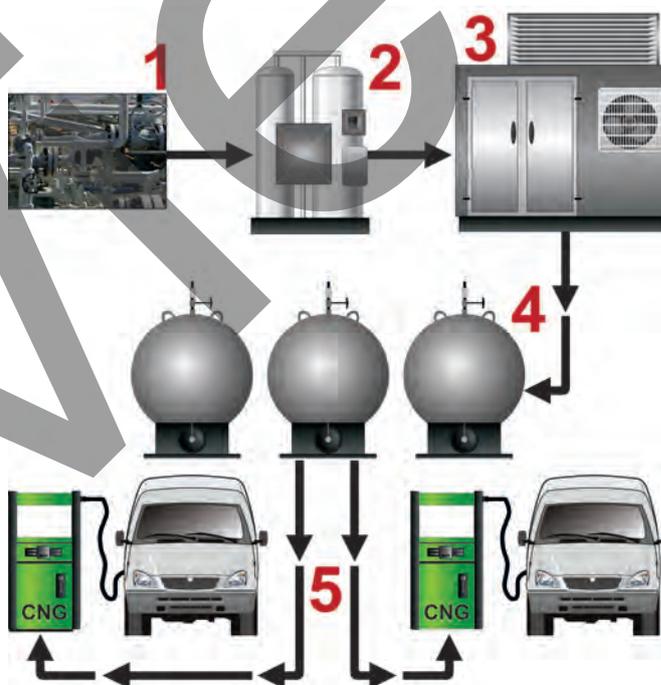


Figura 11: Schema di una stazione di ricarica

**Legenda:**

- 1) Il gas proviene dalla rete di distribuzione e viene misurato (pressione 25-70 bar)
- 2) Dei filtri provvedono alla riduzione dell'umidità e alla purificazione
- 3) Un compressore innalza la pressione da quella della rete a quella di stoccaggio (alcuni impianti possono gestire differenti pressioni di stoccaggio: dai 50 ai 250 bar)
- 4) Lo stoccaggio avviene in più serbatoi che possono essere riempiti a pressioni differenti
- 5) I serbatoi vengono collegati tramite le pompe erogatrici al serbatoio delle auto. La ricarica avviene per differenza di pressione. Nelle pompe un misuratore di flusso conteggia il gas immesso

**i** Capita che facendo un rifornimento la quantità di metano immessa sia differente (a parità di serbatoio vuoto). Oltre alla differente pressione di linea che può esserci fra gli impianti di rifornimento, un altro fattore che influisce non poco sulla densità del metano erogato e pertanto sulla carica finale al distributore è la provenienza del gas naturale. Il gas naturale non è costituito solo da metano puro, ma solitamente include anche altre tipologie di gas mescolati assieme: esano, butano, propano sono i più frequenti. I gas di produzione italiana o russa sono i più puri tra quelli immessi nella rete nazionale di gasdotti: dati SNAM indicano un'elevata percentuale di metano, intorno al 98/99%. I gas di provenienza olandese o algerina invece hanno un contenuto percentuale di metano inferiore, che si aggira sull'87/90% per l'olandese e tra l'80 e l'85% per l'algerino.

Tale soluzione impiantistica è studiata per ottenere due obiettivi:

- velocizzare il rifornimento dei veicoli;
- ridurre l'energia di compressione del metano: se il travaso fosse effettuato unicamente dal serbatoio ad alta pressione, si dovrebbe comprimere tutto il gas che passa dal distributore a questa pressione mentre, così facendo, buona parte del prodotto erogato, viene compresso solo a pressione più bassa.

**LA PISTOLA EROGATRICE:** Sulla pistola sono presenti due tubazioni, una di mandata e una di recupero del gas non rifornito che resta fra il serbatoio dell'auto e l'erogatore.



Figura 12: Pistola erogatrice

Quando il veicolo viene collegato all'erogatore, ed il gestore apre la valvola posta sulla pistola mettendo in comunicazione lo stoccaggio della stazione con la bombola dell'auto, prima di iniziare il travaso il sistema verifica la tenuta idraulica della connessione, controllando per qualche secondo che la pressione stabilita tra erogatore e attacco di carica, resti costante.

Solo se il test ha dato esito positivo inizia l'erogazione, in condizioni pertanto di massima sicurezza, perché fughe di combustibile sono praticamente impossibili.

**i** Questo aspetto solo recentemente è stato valorizzato in Italia dalla Normativa, che finalmente permette il self-service per il rifornimento di metano solo però presidiato, cioè in presenza di un addetto che vigila sull'operato degli automobilisti.

**IL RACCORDO:** Non esiste una sola tipologia di raccordo per l'attacco della pistola erogatrice, ma diverse tipologie sia in Europa, in particolar modo nei paesi dell'Est che nelle nazioni extraeuropee dove il metano viene sfruttato in modo considerevole tipo Argentina, Pakistan, ecc...



Figura 13: Attacco NGV1

Attualmente, in Italia ed in Europa esistono 2 standard che si usano nel nostro paese, che danno origine a 3 possibilità:

- **il P30:** vecchio standard italiano, con il quale se vai all'estero devi procurarti un adattatore da tenere in macchina;

- **l'NGV1:** attuale standard europeo: è presente in tutta Europa e in Italia;
- **UNIVERSALE:** va bene sia in Italia che all'estero senza bisogno di dover applicare un adattatore;
- **NGV2:** solo per i veicoli industriali, cioè autobus e camion. E' di dimensioni maggiori quindi si riconosce facilmente.

**Legenda:**

- 1) Tappo di protezione
- 2) Profilo italiano
- 3) Profilo NGV1
- A) Foro di innesto su parete

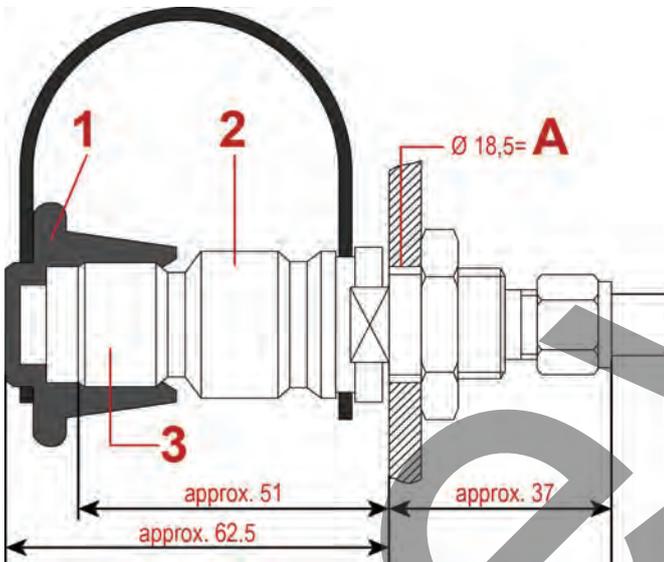


Figura 14: Adattatore universale a doppio profilo

**CONFRONTO FRA GPL E METANO NELLA DISTRIBUZIONE PER L'AUTOTRAZIONE<sup>4</sup>:**

Gas	GPL 	METANO 
Unità di misura	Litro	Kilogrammo <sup>[5]</sup>
Numero di impianti	3093 +6 in RSM	908
Pressione di distribuzione	4-8 bar	216 bar

Tabella 1

[4] Dati di giugno 2012.

[5] Si è scelto di misurarlo in massa (Kg) in quanto la quantità effettivamente ricaricata dipende anche dalla temperatura, dalla pressione reale dell'impianto, dalla sua composizione, ecc...

**1.2 Il metano liquido LNG**

Altra tecnologia per lo stoccaggio ed il trasporto è quella del **metano liquido** in tutto il mondo conosciuto come **LNG (liquid natural gas)**. Il metano liquido si ottiene raffreddando il metano gassoso a -162°C. Un litro di metano liquido equivale a circa 36 litri di metano gassoso a 200 bar, con notevoli benefici in termini di trasportabilità<sup>6</sup>.



Figura 15

*In termini energetici 1 litro di metano liquido equivale a 6 litri di benzina.*



Figura 16

[6] L'LNG ha un peso pari circa al 45% del peso dell'acqua, è inodore, incolore, non è corrosivo nè tossico. Essendo stato sottoposto ad un processo di liquefazione, non contiene H2O, CO2, nè incondensabili, pertanto, ha qualità energetiche migliori che corrispondono ad un Potere Calorifico Superiore (PCS), pari 10.000 Kcal/m<sup>3</sup> circa.

Nella seguente immagine è visibile la filiera dell'LNG:

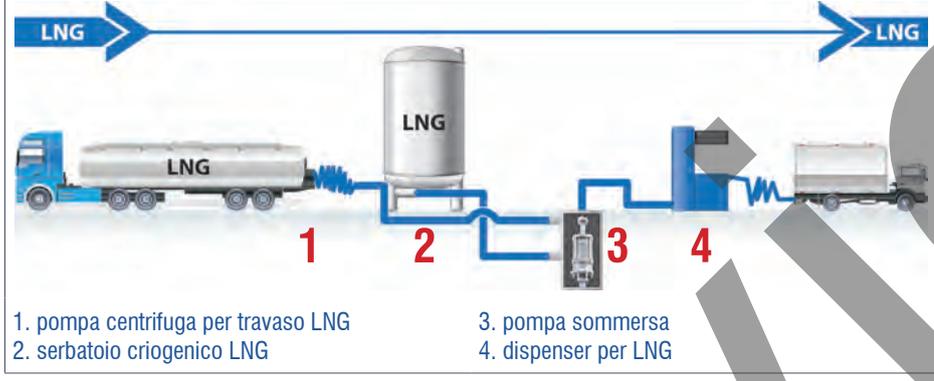


5. DISTRIBUZIONE

stazione di rifornimento con conversione dell'LNG in CNG



- 1. pompa centrifuga per travaso GNL
- 2. serbatoio criogenico GNL
- 3. pompa alternativa alta pressione
- 4. vaporizzatore atmosferico
- 5. buffer per CNG
- 6. dispenser per CNG



- 1. pompa centrifuga per travaso LNG
- 2. serbatoio criogenico LNG
- 3. pompa sommersa
- 4. dispenser per LNG

In futuro, sempre di più, sarà possibile prelevare il metano ancora liquido per l'alimentazione di veicoli ad alimentazione LNG. Attualmente non esistendo ancora una rete distributiva, ed essendo stati presentati sul mercato solo recentemente veicoli industriali alimentati a metano liquido tipo Iveco Stralis eVolvo FH, tali distributori erogano al momento solo metano gassoso, ottenuto scaldando e quindi rigassificando quello liquido

Tabella 2

*Di distributori stradali di metano liquido, in Italia ne esistono attualmente 5: 3 in Piemonte (Villafalletto, Poirino, Tortona), 1 in Trentino (Varna) ed 1 in Emilia Romagna (S. Giovanni in Persiceto), ma alcuni altri sono in costruzione.*

### 1.3 Caratteristiche chimiche e fisiche del Metano e comparazione con gli altri combustibili

I carburanti sono chimicamente dei composti organici costituiti da due elementi: carbonio (C) e idrogeno (H<sub>2</sub>) e per questo appartenenti alla famiglia degli idrocarburi, aventi formula di base C<sub>n</sub>H(2n + 2).

Essi sono caratterizzati da una scarsa reattività in condizioni normali, caratteristica che ne aumenta la sicurezza.

Gli idrocarburi, soprattutto i più leggeri, vengono impiegati come carburanti per via dell'elevata energia prodotta all'atto

della combustione e dell'abbondante disponibilità sul pianeta.

Il più leggero idrocarburo esistente è il metano, avente formula CH<sub>4</sub>, quello successivo è l'etano: CH<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>.

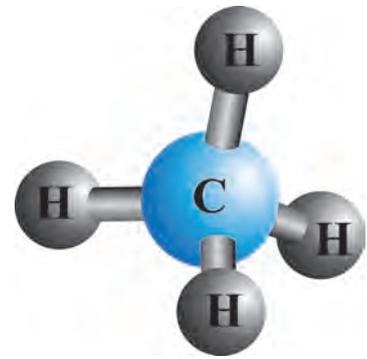


Figura 17: Modello della molecola del metano

Il Metano risulta tra i carburanti per autotrazione il meno inquinante infatti:

1. **non contiene piombo**, presente nella "benzina super".
2. **non contiene zolfo**, presente principalmente nel gasolio e quindi nelle emissioni di Ossido di Zolfo liberate dai motori Diesel.
3. **non contiene IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)**, assai pericolosi perché altamente cancerogeni, presenti nella benzina senza piombo per aumentarne il numero d'ottano.
4. **il particolato (PM10)** prodotto all'atto della combustione è drasticamente ridotto rispetto al gasolio.

[7] Dato che il mantenimento a bassa temperatura del metano liquido nei serbatoi dei veicoli alimentati a GNL si ottiene a spese della vaporizzazione del combustibile di man in mano che viene prelevato dal motore, c'è l'inconveniente che tali mezzi devono essere utilizzati con regolarità, altrimenti emettono via via in atmosfera del metano gassoso dopo alcune ore di inattività: stesso problema è presente nei distributori, nel caso la vendita di prodotto scenda sotto standard minimi.

5. la  $\text{CO}_2$  emessa a parità di energia liberata, è il 20% in meno rispetto a benzina e gasolio.

	BENZINA	METANO	GPL	GASOLIO
Potere calorifico superiore (MJ/Kg)	46	55,5	49,68	47,3
Potere calorifico inferiore (Mj/kg) <sup>[8]</sup>	42	50	45,5 46,1	44,4
Velocità di combustione (cm/s)	23 – 27	30 – 35	23 – 27	
Densità (kg/m <sup>3</sup> ) vapore a 1 bar	4,75	0,67	1,83-2,42	
Densità liquido (kg/l)	0,740	0,415	0,550	0,815-855
Limite superiore infiammabile a p. ambiente (% vol.)	7,6	15	9,5-8,5	6,5
Limite inferiore infiammabilità a p. ambiente (% vol.)	1,0	5,0	2,1-1,5	0,6
Temperatura di autoaccensione (°C) a 1bar	250	540	465	220
Densità vapore del combustibile/densità aria	3,9	0,56	9,5-8,5	/
Punto di ebollizione (°C) 1 bar	125	-161	-42--1	160-370
Rapporto stechiometrico miscela (massa)	14,7	17,24	15	14,7
Numero di Ottano	92	fino 140	fino 115	/

Tabella 3: Caratteristiche fisiche dei carburanti per autotrazione

In verde sono evidenziati i punti di forza del metano. Quello che viene fuori da questa comparazione è che il metano è meno pericoloso, energeticamente più prestazionale e meno inquinante degli altri carburanti. Ma ha bisogno di molta aria, quindi anche di rapporti di compressione elevati.

#### Potere calorifico:

Il potere calorifico è la quantità massima di energia che si può ricavare dalla combustione completa di un quantitativo unitario di combustibile in condizioni standard. Il quantitativo unitario di un combustibile solido o liquido corrisponde generalmente alla massa, mentre nel caso di combustibili

gassosi generalmente ci si riferisce al volume. Per questo motivo il potere calorifico viene espresso in J/kg o in J/m<sup>3</sup>. Il potere calorifico di una sostanza coincide pertanto con la sua entalpia standard massica o volumica di combustione. Si distinguono due tipi di potere calorifico: il potere calorifico superiore e il potere calorifico inferiore. Il potere calorifico superiore include il calore di condensazione dell'acqua, mentre il potere calorifico inferiore non lo considera. I prodotti della combustione sono sostanze gassose come  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  e vapore acqueo, per cui parte del calore disponibile viene dissipato per il riscaldamento dei gas e soprattutto per la vaporizzazione dell'acqua prodotta. Pertanto, se non si recupera il calore di condensazione dell'acqua, il calore generato diminuisce.

#### Potere calorifico superiore

È l'energia prodotta dalla combustione completa di un Kg di combustibile alle condizioni standard, quando i prodotti della combustione sono riportati alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente.

#### Potere calorifico inferiore

È l'energia prodotta dalla combustione completa di un kg di combustibile meno il calore di vaporizzazione dell'acqua formatasi durante la combustione.



*Un kg di metano contiene la stessa energia di 1,5 litri di benzina e di 1,33 litri di gasolio.*

#### Velocità di combustione

Velocità con cui si propaga la fiamma, parametro che per ottenere buone prestazioni deve essere elevato, ma non troppo altrimenti si verifica il problema della detonazione meglio noto come "battito in testa".

#### Densità (kg/m<sup>3</sup>) del vapore a 1 bar

Il metano viene compresso nelle bombole nel suo utilizzo per l'autotrazione. La sua densità inferiore a quella dell'aria ne permette la rapida dispersione verso l'alto nell'atmosfera in caso di fuoriuscita accidentale. È inodore, incolore e allo stato naturale non è tossico. Se è stoccato in forma gassosa, anche se compresso occupa parecchio volume: a

[8] **ATTENZIONE:** Nelle tabelle in genere viene riportato il potere calorifico del metano su normalmetro cubo. Quindi il Pci sarà di circa 35,88 MJ. Il NORMALMETRUCUBO altro non è che 1 metro cubo di gas alle condizioni normali (standard) cioè alla pressione atmosferica ed alla temperatura di 20°C=293 K. Applicando la legge dei gas  $pV=RT$  (1). Con  $V$ =volume specifico in  $\text{m}^3/\text{kg}$ ,  $p$ =pressione atmosferica=103000 Pa,  $R$ =costante gas metano=518 J/kgxK e  $T=293\text{K}$ , si ottiene:  $V=RT/p=1,474\text{m}^3$ . Quindi un  $\text{m}^3$  di metano in condizioni normali occupa un volume di 1,474  $\text{m}^3$ . Il potere calorifico di 1Kg di metano sarà quindi:  $\text{Pci}=35,88(\text{MJ}) \times 1,474 (\text{m}^3)=52,88\text{MJ/Kg}$ .

200 bar, serve un volume pari a 6 litri di bombola circa, per stoccare un kg di metano.

**Limite inferiore d’infiammabilità**

Percentuale minima di gas o vapori di combustibile nell’aria che permette la combustione.

**Limite superiore d’infiammabilità**

Percentuale massima di gas o vapori di combustibile nell’aria che permette la combustione.

**Temperatura di autoaccensione**

Il metano allo stato gassoso, grazie anche alla sua elevata temperatura di autoaccensione (540 °C) ed all’elevato limite inferiore infiammabilità a pressione ambiente (5,0 %), si pone al primo posto di sicurezza rispetto agli altri carburanti per autotrazione.

**Punto d’ebollizione a 1 bar**

Temperatura alla quale il liquido bolle a pressione atmosferica: il metano, a differenza degli altri combustibili è sempre gassoso anche alle temperature più basse. Pertanto è sempre in forma gassosa quando entra nei cilindri, anche nelle stagioni fredde, per cui non bagna mai le candele. Di contro si determina anche un innalzamento delle temperature in camera di combustione, a causa del mancato effetto refrigerante legato alla vaporizzazione del combustibile, dato che questi si trova già allo stato gassoso.

Il motore è quindi soggetto a temperature medie un po’ più elevate.

**Rapporto stechiometrico**

Quantità d’aria teorica in kg necessaria alla combustione completa di un kg di combustibile. Il metano necessita di più aria per bruciare rispetto alla benzina. Questo provoca un abbassamento fisiologico delle prestazioni se un motore a benzina viene alimentato a metano (riduzione di circa 16-17%).

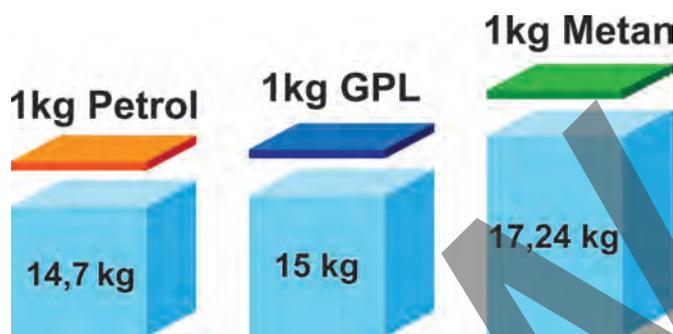


Figura 18

**Numero di Ottano**

E’ un indice che indica il potere antidetonante del combustibile: più il suo valore è elevato, meglio funziona il motore.

**1.4 Comparazione delle emissioni dei principali combustibili**

Per sapere quanta aria ambiente inquina un veicolo a benzina durante il suo funzionamento, è necessario fare un breve calcolo:

E’ noto che, in condizioni ideali servono 14,7 kg d’aria per bruciare 1 kg di benzina.

La densità dell’aria a pressione atmosferica è di 1,2 kg/m<sup>3</sup> di conseguenza, la combustione 1 kg di benzina, che corrisponde a 1,3 litri, servono 14,7: 1,2=12,25 m<sup>3</sup> d’aria pari a 12.250 litri che diventano gas di scarico, e quindi sono inquinati.

Il metano ha un rapporto stechiometrico pari a 17,24 pertanto il motore aspira il 17% in più di aria per ogni kg di combustibile bruciato rispetto alla benzina. Nonostante ciò, a parità di energia termica sprigionata è il meno inquinante tra i carburanti per autotrazione perché non contiene:

- zolfo, presente principalmente nel gasolio e responsabile delle emissioni di ossido di zolfo dei motori;
- idrocarburi policiclici aromatici, presenti nella benzina verde per aumentarne il numero d’ottano assai pericolosi perché fortemente cancerogeni;
- piombo, presente nella vecchia benzina super.